

УДК 537.528:621.763

Н. И. КУСКОВА, А. Н. КОРЗИНОВА, С. А. ХАЙНАЦКИЙ, А. Н. ЮЩИШИНА, Д. И. ЧЕЛПАНОВ**МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

Розглянуто питання утилізації відходів органічних розчинників, лакофарбових матеріалів і галогеновмісних органічних речовин. Досліджено розрядноімпульсні процеси двостадійної переробки рідких вуглецевмісних відходів, що включає переробку газів, що утворюються. Показана можливість переробки твердих галогеновмісних відходів в процесах самопоширюваного високотемпературного синтезу (СВС), що ініціюється розрядним імпульсом струму. Розрядноімпульсний і СВС методи утилізації вуглецевмісних відходів доцільно використовувати для отримання корисного продукту – вуглецевих наноматеріалів.

Ключові слова: вуглецевмісні відходи, лакофарбові матеріали, галогеновмісні речовини, що містять галогени, розрядноімпульсна обробка, самопоширюваний високотемпературний синтез, вуглецеві наноматеріали.

Рассмотрены вопросы утилизации отходов органических растворителей, лакокрасочных материалов и галогенсодержащих органических веществ. Исследованы разрядноимпульсные процессы двухстадийной переработки жидких углеродсодержащих отходов, включающей переработку образующихся газов. Показана возможность переработки твердых галогенсодержащих отходов в процессах самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), инициируемого разрядным импульсом тока. Разрядноимпульсный и СВС методы утилизации углеродсодержащих отходов целесообразно использовать для получения полезного продукта – углеродных наноматериалов.

Ключевые слова: углеродсодержащие отходы, лакокрасочные материалы, галогенсодержащие вещества, разрядноимпульсная обработка, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, углеродные наноматериалы.

The problems of recycling of waste products of organic solvents, paint and varnish materials and halogen-containing compounds organic were considered. Pulse discharge processes for two-stage treatment of liquid carbon-containing waste products which includes recycling of forming gases were studied. The possibility of recycling of solid halogen-containing waste products in the process of self-propagating high-temperature synthesis (SHS), initiated by the pulse discharge current was shown. Effective regimes for processing of liquid carbon-containing waste products into carbon nanomaterials were determined. Pulse discharge and SHS methods of recycling of carbon-containing waste products can and should be used in the expedient production of industrially useful carbon nanomaterials.

Keywords: carbon-containing waste products, paint and varnish materials, halogen-containing compounds, pulse discharge treatment, self-propagating high-temperature synthesis, carbon nanomaterials.

Введение. Актуальность предлагаемой тематики обусловлена чрезмерным увеличением в последние годы техногенных отходов, которые наносят непоправимый вред живой и неживой природе и ощутимо угрожают существованию планеты в целом. Несмотря на большое количество исследований в этой области, проблемы экологически чистого производства, а также переработки и утилизации промышленных отходов остаются актуальными.

Современная промышленность продолжает накапливать огромное количество отходов углеродсодержащих материалов, утилизация которых имеет целый ряд проблем и требует разработки специальных технологических процессов. В то же время, эти продукты могут служить исходным сырьем для получения углеродных наноматериалов. Разнообразие органических веществ, к сожалению, не позволяет разработать универсальный метод их переработки. Поэтому в качестве объекта данного исследования были выбраны два различных, с точки зрения химического строения, вида – отходы лакокрасочных материалов (ЛКМ) и отходы галогенсодержащих органических веществ [1,2].

Лакокрасочные материалы находят широкое применение в производстве и быту. Однако в результате их использования образуются отходы ЛКМ, немалая часть которых является токсичными как для людей, так и для природной среды. В зависимости от основного образующего компонента различают сле-

дующие виды ЛКМ – лаки, краски, эмали, шпаклевки и грунтовки. Высокая токсичность органических веществ, входящих в состав ЛКМ, обуславливает необходимость разработки методов их эффективной утилизации.

Растворитель – это химическое вещество или смесь химических веществ в виде жидкости, которая входит в состав ЛКМ и применяется для регулирования его вязкости, растворения пигмента и/или связывания частиц материала [1]. Растворители и ЛКМ содержат в своем составе сложные вещества, процесс естественного разложения которых в природе может идти несколько сотен лет, отравляя окружающую среду, к тому же они легко воспламеняются. Чаще всего их утилизация происходит в процессе сжигания в специальных печах при температуре от 300 до 800 °С. Однако этим способом не могут быть утилизированы ЛКМ и растворители, содержащие галогенсодержащие компоненты из-за образования диоксинов.

При этом отличительной особенностью утилизации ЛКМ является то, что различные виды ЛКМ перерабатываются в соответствии со специально разработанной технологией при соблюдении специфических условий. Указанные технологии утилизации ЛКМ не являются экологически чистыми, осуществляются не полностью и сопровождаются ущербом для окружающей среды. При размещении же этих отходов на полигонах, их негативное воздействие на окружаю-

шую среду многократно возрастает. Поэтому особенно актуальной является проблема создания современных экологически безопасных методов и способов утилизации отходов органических растворителей и ЛКМ.

Процессы утилизации галогенсодержащих органических материалов сопровождаются образованием высокотоксичных продуктов, которые представляют серьезную угрозу для окружающей среды.

Еще одним классом опаснейших промышленных отходов, утилизация которых представляет серьезную проблему, являются полихлорзамещенные бифенилы (ПХБ). Их производство началось в 1929 г. и продолжалось до 1970 г., пока не был установлен кумулятивный механизм их токсического действия. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях рекомендовала сократить применение этих материалов до 2025 г.

Основными потребителями ПХБ являются электротехническая промышленность (под маркой «совол» или «совтол» эти вещества использовались как диэлектрические жидкости в трансформаторах и силовых конденсаторах) и сельское хозяйство (пестициды). Это указывает на крупнотоннажность данного вида отходов. Из 800 тыс. т ПХБ, произведенных с 1929 г., около 300 тыс. т к настоящему времени находятся в окружающей среде; а около 400 тыс. т – в пользовании. Часть этого используемого количества ПХБ попадает в окружающую среду. Поскольку ПХБ разрушаются очень медленно, уровни их содержания в окружающей среде снижаются крайне незначительно.

Особенностью данного вида органических соединений являются такие свойства, как высокие термо- и огнестойкость, которые обеспечили их широкое применение. Неконтролируемое сгорание ПХБ в результате аварий на трансформаторах или конденсаторах приводит к образованию высокотоксичных полихлордибензодиоксинов и полихлордибензофуранов.

Реагентный метод утилизации ПХБ является одним из наиболее изученных. Его особенностью является использование щелочных и других активных металлов, связывающих атомы хлора, с добавлением углеводородов (типа гексана, циклогексана). При этом образуются различные органические продукты, включая высокомолекулярные. Существенным недостатком данного метода является его высокая стоимость и опасность проведения процесса.

Электрохимический метод характеризуется невысокой конверсией ПХБ и не имеет широкого практического применения.

Практически стопроцентная утилизация ПХБ достигается в пиролитических методах за счет использования дополнительных реагентов в роли катализаторов.

Интенсивно исследуются методы радиационного и фотохимического дехлорирования. Особое внимание уделяется изучению гидрогенолиза (взаимодействие ПХБ с водородом, замещение хлора на атомы водорода в присутствии дорогостоящих катализаторов (Cu, Fe, Co, Ni, W и др.)).

Сложность утилизации хлорорганических пестицидов, таких как гексахлорбензол, состоит в том, что их галогензамещенные ароматические кольца высокоустойчивы к окислительной деградации, а возможное образование еще более опасных побочных продуктов представляет собой один из основных недостатков технологий, используемых в традиционных мусоросжигательных печах. Их утилизация может быть реализована как разрядноимпульсным методом, так и методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [3].

Процессы утилизации фторопластов и материалов, их содержащих, сопровождаются образованием высокотоксичных продуктов, таких как карбонилдифторид, перфторизобутилен, фтористый водород. Получение таких и других смесей ксенобиотиков представляет серьезную угрозу для окружающей среды, что существенно затрудняет расширение их применения в современных технологиях.

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений переработки фторопластов и материалов, их содержащих, считается регулируемая термодеструкция в специальных условиях, конечной целью которой является, как правило, либо преимущественное получение низкомолекулярного тонкодисперсного фторопласта, либо различных газообразных продуктов, в частности мономеров. Существенным недостатком известных способов переработки фторопласта является образование значительного количества сложных смесей газообразных веществ, требующих дополнительного обезвреживания.

Анализ предварительных исследований и литературы. Разрядноимпульсная или высокотемпературная обработка некоторых классов органических соединений могут обеспечить не только утилизацию вредных веществ, но и синтез углеродных наноматериалов (УНМ). Синтез УНМ в процессе переработки органических растворителей различной природы (спирт, керосин, бензол, гексан, циклогексан и др.) является хорошо изученным и управляемым процессом [4]. Однако использование чистых растворителей с экономической точки зрения не представляется достаточно разумным. Отходы данных веществ содержат большое количество углерода, поэтому задачей их утилизации является не просто захоронение (уничтожение), а использование их в качестве сырья для получения наноуглерода.

Одним из таких методов может стать разрядноимпульсный метод деструкции углеродсодержащих жидкостей с последующим получением углеродных наноматериалов, предложенный нами [5] и активно развивающийся в последние годы [6,7]. Для полной и безопасной утилизации растворителей и ЛКМ этот метод был существенно усовершенствован, что позволяет перерабатывать выделяющийся при разложении обрабатываемых жидкостей газ (смесь газов – см. например, [8]).

В плазме электрического разряда молекулы газообразных углеводородов распадаются на углерод и водород. Таким образом, если последовательно вклю-

читать в схему переработки жидких отходов в качестве второй стадии переработку газов, то выброс в атмосферу вредных веществ можно уменьшить до приемлемых размеров или свести к нулю.

В качестве второй стадии переработки жидких органических отходов – стадии переработки газовой фазы – возможно также использовать и другие известные методы получения углеродных наноматериалов из газовой фазы. К примеру, термическое разложение газов при недостатке воздуха – пиролиз [2], или высокочастотный разряд в газе [9].

В целях наиболее полной утилизации органических растворителей на второй стадии обработки можно использовать одновременно (последовательно) сразу несколько методов деструкции молекул органических соединений с последующим получением УНМ. При этом выход УНМ по массе должен увеличиться, а состав получаемых материалов стать более разнообразным, поскольку в процессе разложения молекул исходного продукта образуется большое количество газов, которые содержат главным образом предельные и непредельные углеводороды с разным типом углеродных связей в молекулах.

Цель работы – разработка разрядноимпульсных и СВЧ методов переработки промышленных углеродсодержащих отходов (органических растворителей, галогенсодержащих органических веществ, ЛКМ), включающей синтез углеродных наноматериалов.

Методика исследований. Для реализации непрерывного синтеза УНМ при двухстадийной разрядноимпульсной переработке органических отходов были разработаны и запатентованы новые разрядноимпульсные методы и установки [10-13].

Для исследования двухстадийных процессов синтеза УНМ создан экспериментальный стенд. Первая стадия – переработка органических отходов. На второй стадии обработка смеси углеводородных газов, выделяющихся на первой стадии, – проводилась с помощью воздействия искрового разряда, импульсного тлеющего разряда субмикросекундной длительности и каталитического пиролиза. На второй стадии переработки использовали лабораторные установки с различными комбинациями этих методов синтеза УНМ.

Экспериментальный стенд создавался как установка непрерывного электроразрядного синтеза УНМ на базе ВТМ 12-40. В зарядной цепи высокое напряжение (до 50 кВ) подавалось на два накопителя емкостью $C1 = 0,25$ мкФ и $C2 = 0,1$ мкФ через зарядные сопротивления $R1 = 0,2$ МОм и $R2 = 0,6$ МОм. С накопителей напряжение коммутировалось на искровые промежутки в двух металлических разрядных камерах (РК1 и РК2) цилиндрической формы диаметром 70 мм.

Схема технологического узла стенда приведена на рис. 1.

Технологический узел включает в себя напорный бак (НБ), в верхней части которого находится устройство разделения обработанной жидкости на газ и жидкость; РК1 – разрядная камера для обработки углерод-

содержащей жидкости; РК2 – разрядная камера для обработки углеродсодержащих газов, образовавшихся в процессе электроразрядной обработки жидких углеводородов; фильтровально-разделительное устройство для сепарации твердых частиц, образовавшихся в процессе ЭРО газов в РК2; пиролизический реактор (ПР) для дополнительной обработки смеси углеродсодержащих газов.

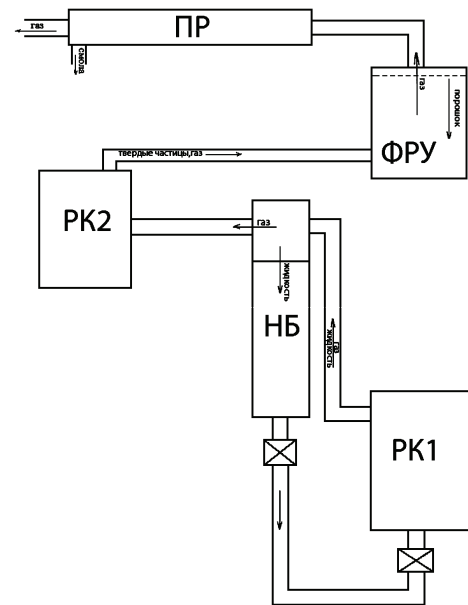


Рисунок 1 – Схема технологического узла
экспериментального стенда для двухстадийной переработки
жидких углеродсодержащих отходов

Катодом в них служил корпус камеры, анод исполнялся в виде металлического диска толщиной от 2 до 4 мм, расположенного симметрично по оси камеры примерно в нижней ее части. Межэлектродный промежуток составлял от 2 до 5 мм. Первая камера (РК1) предназначалась для обработки жидкости. Объем камеры (с учетом объема электродной системы) $V_1 = 450 \text{ см}^3$. Рабочая жидкость подавалась в камеру снизу из напорного бака (НБ), расположенного выше разрядной камеры. В этот же бак по патрубку, установленному на крышке камеры, поступала и смесь газов, получаемая в процессе электроразрядной обработки жидкости.

Часть газа конденсировалась на поверхности рабочей жидкости и поступала на вторичную обработку. Остальной газ подавался на обработку искровым разрядом во вторую камеру (РК2). Коммутатор, подающий высокое напряжение на вторую камеру, оборудовался изолирующей вставкой в искровом промежутке, механически удалявшейся в случае необходимости. Это позволяло осуществлять задержку начала обработки смеси газов на время, необходимое для заполнения газом второй камеры. Обработанный газ поступал в сосуд Вульфа, в качестве которого используется фильтроразделительное устройство (ФРУ), где часть полученных УНМ (тяжелая фракция) оседала. Дальше газ поступал на фильтрующие устройства (механические фильтры) и, в случае необходимости – на устройство для каталитического пиролиза газа.

Частоту следования импульсов в камере РК1 варьировали от 1 до 5 Гц. При подключении второй камеры частота следования импульсов удваивалась и становилась одинаковой в обеих камерах.

Лабораторная установка для реализации процессов СВС имеет в основе следующий принцип работы – подготовленную из порошковых реагентов шихту (спрессованную до определенной плотности или помещенную в капсулу, внутренний диаметр которой может быть от 3 до 30 мм и больше) располагали в специальной ячейке, после чего к торцу образца подвели иницирующую спираль (вольфрамовую проволоку, предварительно закрепленную в токоведущих электродах).

Иницирование процесса СВС реализовано кратковременным локальным нагревом экзотермических смесей разрядным импульсом тока, текущего по проводнику [14,15].

Результаты эксперимента. Проведен комплекс исследований физико-химических процессов синтеза УНМ в результате переработки жидких отходов органических растворителей (при напряжениях от 30 до 50 кВ с частотой следования импульсов от 1 до 20 Гц) и смеси образующихся при этом газов (с частотой следования импульсов от 10 до 25 Гц и от 1 до 10 кГц).

Показано, что эффективность двухстадийной разрядноимпульсной переработки отходов органических растворителей на УНМ и водород возрастает от 3 до 10 раз, по сравнению с одностадийной.

Определены эффективные режимы переработки отходов в проточном режиме (непрерывная подача жидкости со скоростью от 1 до 3 дм³/с, напряжение от 30 до 50 кВ, частота следования импульсов от 4 до 15 Гц при запасаемой в одном импульсе энергии от 0,1 до 0,2 кДж) и смеси образующихся при этом газов (напряжение от 30 до 40 кВ, частота следования импульсов от 10 до 25 Гц при запасаемой в одном импульсе энергии от 0,05 до 0,1 кДж).

С целью изучения возможности реализации электроразрядного способа утилизации отходов ЛКМ осуществляли переработку пленок эмали ПФ-115, погруженных в растворитель (уайт-спирит или керосин). Соотношение твердой и жидкой фаз по массе составляло 3:1. Электроразрядную обработку отходов реализовали при напряжении 35 кВ и частоте следования импульсов – 10 Гц.

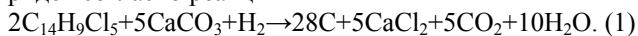
Полное диспергирование эмалевых пленок достигается после 20000 импульсов. При этом в результате частичной деструкции органических компонентов обрабатываемой смеси цвет продукта становится черным.

Полнота переработки отходов ЛКМ достигалась использованием двухстадийной установки, в которой производили разрядноимпульсную обработку жидкости и образующихся газов. Полученные наноматериалы представляют собой углеродсодержащие аморфные наноматериалы, которые могут быть использованы в строительной промышленности.

Исследован разрядноимпульсный процесс пере-

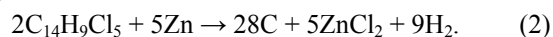
работки ПХБ, в качестве которого использован ДДТ (C₁₄H₉Cl₅) (широко известный в быту как дуст). Данная препаративная форма имеет следующий состав: действующее вещество от 1 до 10 %, наполнители – каолин, тальк, мел, титановые белила.

В эксперименте суспензию дуста в циклогексаноне или этиловом спирте в соотношении Т:Ж=1:20 подвергали электроразрядной обработке при напряжении 34 кВ и частоте следования импульсов от 7 до 15 Гц. Наличие солей карбонатной кислоты в суспензии способствует образованию соответствующих хлоридов согласно реакции



Источником атомарного или молекулярного водорода в данной реакции являются как молекулы обрабатываемого вещества ДДТ, так и продукты электроразрядной деструкции углеводородного растворителя.

Во второй серии экспериментов разрядноимпульсной обработке подвергали фильтрат, содержащий растворимые хлорпроизводные. При этом в качестве галогеноотнимающего средства использовали гранулы металлического цинка. Процесс, по-видимому, протекает по механизму, близкому к реакции Вюрца

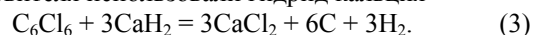


Данные варианты утилизации ПХБ приводят к образованию неорганических хлоридов, которые хорошо растворимы в воде и могут быть отделены от углеродных продуктов. На второй стадии производили переработку образующихся углеводородных газов на УНМ и водород.

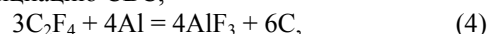
Показано, что для полной утилизации отходов органических растворителей, лакокрасочных материалов и полихлорзамещенных бифенилов необходима их двухстадийная ЭРО. Подобным образом могут быть переработаны любые жидкие или твердые растворимые в органических жидкостях углеродсодержащие отходы.

Исследованы также СВС-процессы переработки отходов твердых порошкообразных галогенсодержащих веществ – политетрафторэтилена и гексахлорбензола. Так как политетрафторэтилен и гексахлорбензол не могут самовоспламеняться, то для осуществления процесса СВС использовали вещества – горючие.

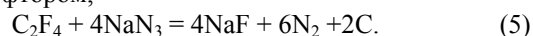
Для переработки гексахлорбензола в качестве восстановителя использовали гидрид кальция



Для переработки политетрафторэтилена были использованы алюминий, который имеет низкую температуру плавления, что позволяет реализовать стабильную инициацию СВС,



а так же азид натрия, который интенсивно взаимодействует с фтором,



Для выбранных реагентов (политетрафторэтилен, алюминий и азид натрия) рассчитаны энтальпия ΔH , энтропия ΔS и энергия Гиббса ΔG , а также адиабатическая температура горения T_g . Анализ результатов (см. табл. 1) показывает, что внутренней энергии рас-

смотренных экзотермических систем достаточно для синтеза углерода.

Таблица 1 – Результаты расчета энтальпии, энтропии, энергии Гиббса и адиабатической температуры горения экзотермических систем

СВС-система	ΔH , кДж/моль	ΔS , Дж/(моль·К)	ΔG , кДж/моль	Адиабатическая температура горения, T_{ad} , К
$Al + (-C_2F_4)_n$	-3041,6	-4,721	-1634,74	3000
$NaN_3 + (-C_2F_4)_n$	-1393,2	-658,39	-1197	3200

Рентгенофазовый анализ образцов СВС-продукта систем «алюминий + политетрафторэтилен» и «азид натрия + политетрафторэтилен» показал, что исходные порошки вступили в СВС-реакцию с образованием углеродных наноматериалов.

Таким образом, СВС-процессы могут служить альтернативой традиционной термической переработке отходов галогенсодержащих веществ.

Выводы. Показано, что для полной утилизации отходов органических растворителей, лакокрасочных материалов и полихлорзамещенных бифенилов необходима их двухстадийная разрядноимпульсная обработка. Определены эффективные режимы переработки жидких углеродсодержащих отходов на углеродные наноматериалы.

Показана возможность применения экологически чистых СВС- процессов утилизации твердых галогенсодержащих отходов, инициируемых разрядными импульсами тока и происходящих одновременно с синтезом углеродных наноматериалов.

Список литературы:

1. Дринберг С. А. Растворители для лакокрасочных материалов / С. А. Дринберг. – Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1986. – 194 с.
2. Мухина Т. Н. Пиролиз углеводородного сырья / Т. Н. Мухина, Н. Л. Барабанов, С. Е. Бабаиш. – М.: Химия, 1987. – 240 с.
3. Концепция развития СВС как области научно-технического прогресса / отв. ред. А. Г. Мерзжанов. – Черно-голова: «Территория», 2003. – 368 с.
4. Rud A. D. Synthesis of Carbon Nanomaterials Using High-Voltage Electric Discharge Techniques / A. D. Rud, N. I. Kuskova, L. I. Ivashuk, L. Z. Boguslavskii, A. E. Perekos // Nanomaterials. – InTech. – 2011. – P. 211-230.
5. Kuskova N. I. Obtaining nanocarbon using the electric-discharge treatment method of organic liquids / N. I. Kuskova, L. Z. Boguslavskii, A. A. Smal'ko // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2007. – № 4. – P. 46-52.
6. Kuskova N. I. Electrodischarge Technology and Equipment to Produce New Carbon Nanomaterials / N. I. Kuskova, K. V. Dubovenko, S. V. Petrichenko, P. L. Tsolin, S. O. Chaban // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2013. – V. 49, No 3. – P. 35-42.
7. Yushchishina A. N. On possible processes of the formation of carbon nanomaterials with electrodischarge treatment of hydrocarbons / A. N. Yushchishina, N. I. Kuskova, D. I. Chelpanov // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2015. – Vol. 51, iss. 3. – P. 203-207.
8. Kuskova N. I. Synthesis of Carbon Nanomaterials from

Gases Generated in the Course of the Electrodischarge Treatment of Organic Liquids / N. I. Kuskova, V. Yu. Baklar', A. Yu. Terekhov, A. N. Yushchishina, S. V. Petrichenko, P. L. Tsolin, A. P. Malyushevskaya // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2014. – Vol. 50, No. 2. – P. 101-105.

9. Boguslavskii L. Z. On the Possibility of the Synthesis of Nanocarbon under the High Frequency Pulse Periodic Electrodischarge Effect on Gaseous Hydrocarbons / L. Z. Boguslavskii // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2010. – Vol. 46, № 4. – P. 352-360.

10. Кускова Н. И. Пат. 103278, Україна. Установка для одержання вуглецевих наноматеріалів / Н.И. Кускова, О.І. Вовченко, С.В. Петриченко, А.П. Малишевська, П.Л. Цолін, В.Ю. Баклар, О.О. Зубенко. – 2012.

11. Цолін П. Л. Пат. 83143, Україна. Установка для одержання вуглецевих наноматеріалів / П.Л. Цолін, Н.И. Кускова, С. В. Петриченко, А. Ю. Терехов, О. О. Зубенко. – 2013.

12. Кускова Н. И. Пат. 80684, Україна. Спосіб одержання вуглецевих наноматеріалів з органічних рідин / Н.И. Кускова, О.І. Христо, А.Ю. Терехов, А. П. Малишевська, О.О. Зубенко. – 2012.

13. Вовченко О. І. Пат. 100467, Україна. Спосіб переробки органічних розчинників або їх відходів / О.І. Вовченко, Н.И. Кускова, С.В. Петриченко, Л.З. Богуславський. – 2011.

14. Челпанов Д. І. Пат. 104443, Україна. Спосіб одержання вуглецевих наноматеріалів / Д.І. Челпанов, Н.И. Кускова, А.О. Смалко. – 2015.

15. Челпанов Д. И. Разрядноимпульсная инициация процессов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в некоторых порошковых системах / Д.И. Челпанов, Н. И. Кускова, А. А. Смалко // Вісник НТУ «ХПІ». Сер. Техніка та електрофізика високих напруг: зб. наук. праць. – 2015. – № 51. – С. 115-120.

References (transliterated):

1. Drinberg S A., Barabanov N. L., Babash S. E. Rastvoriteli dlya lakokrasochnykh materialov [Solvents for paints and varnishes]. Leningrad, Khimiya, Leningradskoe otделение, 1986. 194 p.
2. Mukhina T. N. Piroлиз uglevodородного syr'ya [Pyrolysis of hydrocarbon raw material]. M.: Khimiya, 1987. 240 p.
3. Merzhanov A. G., ed. Kontseptsiya razvitiya SVS kak oblasti nauchno-tehnicheskogo progressa [The concept of development of SHS as a field of scientific and technological progress]. Chernogolovka, "Territoriya", 2003. 368 p.
4. Rud A.D., Kuskova N.I., Ivashuk L.I., Boguslavskii L.Z., Perekos A.E. Synthesis of Carbon Nanomaterials Using High-Voltage Electric Discharge Techniques. Nanomaterials. InTech. 2011, pp. 211-230.
5. Kuskova N. I., Boguslavskii L. Z., Smal'ko A. A. Obtaining nanocarbon using the electric-discharge treatment method of organic liquids. Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2007, no. 4, pp. 46-52.
6. Kuskova N. I., Dubovenko K. V., Petrichenko S. V., Tsolin P. L., Chaban S. O. Electrodischarge Technology and Equipment to Produce New Carbon Nanomaterials. Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2013, vol. 49, no. 3, pp. 35-42.
7. Yushchishina A. N., Kuskova N. I., Chelpanov D. I. On possible processes of the formation of carbon nanomaterials with electrodischarge treatment of hydrocarbons. Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2015, vol. 51, iss. 3, pp 203-207.
8. Kuskova N.I, Baklar' V.Yu., Terekhov A.Yu., Yushchishina A.N., Petrichenko S.V., Tsolin P.L., Malyushevskaya A.P. Synthesis of Carbon Nanomaterials from Gases Generated in the Course of the Electrodischarge Treatment of Organic Liquids.

Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2014, vol. 50, no. 2, pp. 101–105.

9. Boguslavski L. Z. On the Possibility of the Synthesis of Nanocarbon under the High Frequency Pulse Periodic Electrodischarge Effect on Gaseous Hydrocarbons. Surface Engineering and Electrochemistry. 2010, vol. 46, no. 4, pp. 352–360.

10. Kuskova N. I., Vovchenko O. I., Petrichenko S. V., Malyushevs'ka A. P., Tsolin P. L., Baklar V. Yu., Zubenko O. O. Ustanovka dlya oderzhannya vugletsevykh nanomaterialiv [Equipment for carbon nanomaterials production]. Patent UA, no. 103278, 2012.

11. Tsolin P. L., Kuskova N. I., Petrichenko S. V., Terekhov A. Yu., Zubenko O. O. Ustanovka dlya oderzhannya vugletsevykh nanomaterialiv [Equipment for carbon nanomaterials production]. Patent UA, no. 83143, 2013.

12. Kuskova N. I., Khristo O. I., Terekhov A. Yu., Malyushevs'ka A. P., Zubenko O. O. Sposib oderzhannya vugletsevykh nanomaterialiv z organichnikh ridin [Method of carbon nanoma-

terials production from organic liquids]. Patent UA, no. 80684, 2012.

13. Vovchenko O. I., Kuskova N. I., Petrichenko S. V., Boguslavski L. Z. Sposib pererobki organichnikh rozchinnikiv abo ikh vidkhodiv [Method for processing of organic solvents or their wastes]. Patent UA, no. 100467, 2011.

14. Chelpanov D. I., Kuskova N. I., Smal'ko A. O. Sposib oderzhannya vugletsevykh nanomaterialiv [Method of carbon nanomaterials production]. Patent UA, no. 104443, 2016.

15. Chelpanov D. I., Kuskova N. I., Smal'ko A. A. Razryadnoimpul'snaya initsiatsiya protsessov samorasprostranyayushchegosya vysokotemperaturnogo sinteza v nekotorykh poroshkovykh sistemakh [Pulse discharge initiation of self-propagating high-temperature synthesis processes in some powder systems]. Visnik NTU «KhPI». Ser. Tekhnika ta elektrofizika visokikh naprug: zb. nauk. prats'. 2015, no. 51, pp. 115–120.

Поступила (received) 10.03.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Методи утилізації вуглецевмісних відходів / Н. І. Кускова, Г. М. Корзинова, С. О. Хайнацький, Г. М. Ющишина, Д. І. Челпанов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 15 (1237). – С. 73–78. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2079-0740.

Методы утилизации углеродсодержащих отходов / Н.И. Кускова, А.Н. Корзинова, С.А. Хайнацкий, А.Н. Ющишина, Д.И. Челпанов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 15 (1237). – С. 73–78. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2079-0740.

Methods of recycling of carbon-containing waste products / N.I. Kuskova, A.N. Korzinova, S.A. Khainatskiy, A.M. Yushishina, D.I. Chelpanov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017. – № 15 (1237). – С. 73–78. – Bibliogr.: 15. – ISSN 2079-0740.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кускова Наталія Іванівна – доктор технічних наук, професор, зав. відділу електрофізичних досліджень Інституту імпульсних процесів та технологій НАН України; тел.: (050) 737-94-52; e-mail: nataljakuskova@mail.ru.

Кускова Наталья Ивановна – доктор технических наук, профессор, зав. отделом электрофизических исследований Института импульсных процессов и технологий НАН Украины; тел.: (050) 737-94-52; e-mail: nataljakuskova@mail.ru.

Kuskova Natalya Ivanovna – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Electrophysical Researches of the Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine; tel.: (050) 737-94-52; e-mail: nataljakuskova@mail.ru.

Корзинова Ганна Миколаївна – аспірант; Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України, тел.: (093) 227-17-93; e-mail: maluchek@i.ua.

Корзинова Анна Николаевна – аспірант; Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України, тел.: (093) 227-17-93; e-mail: maluchek@i.ua.

Korzinova Anna Nikolaevna – Postgraduate Student; Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, tel.: (093) 227-17-93; e-mail: maluchek@i.ua.

Хайнацький Сергій Олександрович – науковий співробітник, Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України; тел.: (095) 664-90-70; e-mail: Khainatskyu@mail.ru.

Хайнацкий Сергей Александрович – научный сотрудник, Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины; тел.: (095) 664-90-70; e-mail: Khainatskyu@mail.ru.

Khainatskiy Sergey Aleksandrovich – Researcher, Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine; tel.: (095) 664-90-70; e-mail: Khainatskyu@mail.ru.

Ющишина Ганна Миколаївна – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України; тел.: (063) 437-87-85; email: defr@iipr.com.ua.

Ющишина Анна Николаевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины; тел.: (063) 437-87-85; email: defr@iipr.com.ua.

Yushishina Anna Nikolaevna – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine; tel.: (063) 437-87-85; email: defr@iipr.com.ua.

Челпанов Дмитро Ілліч – аспірант; Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України, тел.: (067) 514-77-78; e-mail: chelpanoffdimitri@gmail.com.

Челпанов Дмитрий Ильич – аспірант; Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України, тел.: (067) 514-77-78; e-mail: chelpanoffdimitri@gmail.com.

Chelpanov Dmitry Illych – Postgraduate Student; Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, tel.: (067) 514-77-78; e-mail: chelpanoffdimitri@gmail.com.